Vers une mesure avancée du TRS

Intégration des micro-arrêts, des utilités, de la logistique, du nettoyage et des ressources humaines

A. YAHIA MESSAOUD

Résumé

Le Taux de Rendement Synthétique (TRS) est un indicateur fondamental dans la gestion industrielle. Néanmoins, dans sa forme classique, il présente des lacunes importantes : il omet plusieurs sources de pertes comme les micro-arrêts, les coupures d'utilités, les retards logistiques et l'efficacité humaine. Cet article propose une version enrichie du TRS, appelée TRS avancé, qui permet une vision plus réaliste et stratégique de la performance globale. À travers une formulation mathématique détaillée, chaque composante est justifiée et interprétée afin de soutenir les démarches d'amélioration continue, de maintenance 4.0 et d'excellence opérationnelle.

1 Introduction

Le TRS est historiquement défini comme :

$$TRS = \textit{Disponibilité} \times Performance \times \textit{Qualité}$$

Bien qu'efficace pour évaluer les pertes directes, cette formule ne couvre pas :

- Les micro-arrêts (quelques secondes, souvent non enregistrés),
- Les pertes liées aux utilités (air comprimé, électricité, vapeur...),
- Les interruptions logistiques ou administratives,
- Les pertes de productivité humaine (absences, sous-charge, inefficacité),

- Les durées consacrées aux nettoyages.

Le TRS avancé vise à intégrer ces dimensions afin d'offrir une vision globale et utile à la prise de décision.

2 Formule du TRS avancé

$$TRS_{avancé} = E \times Q \times S \times L \times P$$

où :

- E : performance réelle de l'équipement,
- Q : qualité pondérée,
- S : impact du nettoyage,
- L : efficacité logistique,
- P : productivité humaine.

3 Composante E : Performance réelle

$$E = D \times \left(\frac{V_{réelle}}{V_{nominale}} \right) \times (1 - F_m) \times \left(1 - \frac{T_{utilité} + T_{énergie} + T_{pdr}}{T_{disp}} \right)$$

- $D = \frac{T_{disp}}{T_{ouvr}}$: disponibilité observée,
- $\frac{V_{réelle}}{V_{nominale}}$: rapport de vitesse effective,
- F_m : facteur de micro-arrêts,
- $T_{utilité}, T_{énergie}, T_{pdr}$: temps perdu lié aux utilités, énergie et indisponibilité pdr.

Modèles pour F_m

$$F_m^{simple} = \frac{N_{micro}}{N_{prod} + N_{micro}} \quad \text{(fréquence brute)}$$

$$F_m^{exp} = 1 - e^{-k \cdot \frac{N_{prod}}{N_{micro}}} \quad \text{(pondération exponentielle)}$$

$$F_m^{logistique} = \frac{1}{1 + k \cdot \left(\frac{N_{micro}}{N_{prod}} + \varepsilon \right)} \quad \text{(modèle stabilisé)}$$

$$F_m^{pondéré} = \alpha \cdot \frac{N_{micro}}{N_{prod}} + \beta \cdot \frac{T_{micro}}{T_{disp}}, \quad \alpha + \beta = 1 \quad \text{(pondération mixte)}$$

Interprétations des modèles de F_m

- $\boldsymbol{F_m^{simple}}$: Ce modèle repose uniquement sur la fréquence des micro-arrêts. Il est simple à calculer et approprié pour des lignes automatisées avec des interruptions de durée homogène. Toutefois, il ne tient pas compte de la durée des arrêts, ce qui peut sous-estimer leur impact dans les environnements hétérogènes.

- $\boldsymbol{F_m^{exp}}$: Ce modèle introduit une pondération exponentielle, où l'impact des micro-arrêts croît rapidement avec leur fréquence. Il est particulièrement adapté aux environnements sensibles à la stabilité du flux (par exemple : emballage, robotisation).

- $\boldsymbol{F_m^{logistique}}$: Utilise une courbe en cloche (fonction sigmoïde) qui stabilise l'effet des micro-arrêts lorsqu'ils deviennent trop fréquents. Ce modèle évite de surévaluer des systèmes instables par nature et amortit les effets extrêmes.

- $\boldsymbol{F_m^{pondéré}}$: Le plus équilibré et personnalisable. Il combine la fréquence (N_{micro}) et la durée (T_{micro}), permettant un ajustement par les coefficients α et β en fonction du contexte industriel. C'est le modèle recommandé pour des environnements complexes et pilotés par données.

4 Composante Q : Qualité pondérée

$$Q = 1 - (\alpha \cdot NC_1 + \beta \cdot NC_2 + \gamma \cdot NC_3 + QF)$$

- NC_i : défauts mineurs (1), moyens (2), critiques (3),
- α, β, γ : poids attribués selon la gravité,
- QF : produits non récupérables.

Interprétation : L'intégration de pondérations permet de cibler les défauts les plus critiques.

5 Composante S : Nettoyage

$$S = 1 - \left(\frac{T_{nettoyage}}{T_{disp}}\right)$$

Interprétation : Plus $T_{nettoyage}$ est important, plus S diminue. Cela pousse à optimiser les séquences de nettoyage (CIP/NEP).

6 Composante L : Logistique

$$L = 1 - \left(\frac{T_{rupture_MP} + T_{sans_ordre}}{T_{disp}}\right)$$

Interprétation : Intègre les pertes dues à des défauts organisationnels : rupture de matière première, absence d'ordres de fabrication.

7 Composante P : Productivité humaine

$$P = \left(1 - \frac{T_{absence}}{T_{disp}}\right) \times \left(\frac{Q_{produite}}{Q_{attendue}}\right)$$

Interprétation : Cette composante mesure la présence effective des opérateurs ainsi que leur capacité à atteindre les objectifs.

8 Formule finale du TRS avancé (mise en page complète)

$$TRS_{avancé} = \underbrace{\left(\frac{T_{disp}}{T_{ouvr}}\right)}_{Disponibilité} \times \underbrace{\left(\frac{V_{réelle}}{V_{nominale}}\right)}_{Rendement} \times \underbrace{(1 - F_m)}_{Micro\text{-}arrêts} \times \underbrace{\left(1 - \frac{T_{utilité} + T_{énergie} + T_{pdr}}{T_{disp}}\right)}_{Pertes\ utilités}$$
$$\times \underbrace{[1 - (\alpha NC_1 + \beta NC_2 + \gamma NC_3 + QF)]}_{Qualité\ pondérée} \times \underbrace{\left[1 - \left(\frac{T_{nettoyage}}{T_{disp}}\right)\right]}_{Nettoyage}$$
$$\times \underbrace{\left[1 - \left(\frac{T_{rupture_MP} + T_{sans_ordre}}{T_{disp}}\right)\right]}_{Logistique} \times \underbrace{\left(1 - \frac{T_{absence}}{T_{disp}}\right) \cdot \left(\frac{Q_{produite}}{Q_{attendue}}\right)}_{Productivité\ humaine}$$

9 Conclusion

Le TRS avancé offre une lecture systémique et complète de la performance industrielle. Il va au-delà des indicateurs classiques en intégrant des dimensions humaines, logistiques et énergétiques, essentielles à la compétitivité. Ce modèle favorise :

- Une compréhension fine des pertes cachées,
- Des actions de maintenance ciblées et préventives,
- L'intégration des outils numériques dans une stratégie Industrie 4.0.